

TRANSMISOR EN FRECUENCIAS RF BASADO EN RADIO SOBRE
FIBRA ÓPTICA

MICHAEL ALBERTO CASTILLO ALVAREZ
DIEGO ARMANDO MORENO CALDERON

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2018

TRANSMISOR EN FRECUENCIAS RF BASADO EN RADIO SOBRE
FIBRA ÓPTICA

MICHAEL ALBERTO CASTILLO ALVAREZ
DIEGO ARMANDO MORENO CALDERON

Proyecto de Grado para obtener el título de
Ingeniero Electrónico y Telecomunicaciones

Director:
Ing. YESID PACHECO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2018

Nota de aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

AGRADECIMIENTOS

Sinceros agradecimientos especiales a Dios y a todas las personas que nos han orientado en este camino, los Directores de Trabajo de Grado el Ing. Germán Álvarez y el Ing. Yesid Pacheco cada uno respectivamente por su disposición y acompañamiento brindado en este proceso. A nuestra familia por la paciencia y confianza y ayuda mientras desarrollábamos el trabajo que nos conduciría a la obtención del título.

CONTENIDO

Pág.

AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN	11
INTRODUCCIÓN	12
1. GENERALIDADES	13
1.1 ANTECEDENTES	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
2. OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GENERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. JUSTIFICACIÓN	18
3.1 DELIMITACION	19
3.1.2 Tiempo	19
3.1.3 Contenido	19
3.1.4 Alcance	19
4. MARCO DE REFERENCIA	20
4.1 MARCO TEORICO – CONCEPTUAL	20
4.2. MARCO LEGAL	22
5. METODOLOGÍA	25
5.1 DESCRIPCIÓN DE MATERIALES	26
5.1.1 MATERIALES	26
6. IMPLEMENTACIÓN	27
6.1 PROCEDIMIENTOS REALIZADOS	27
6.2 DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO	27
6.3 DESARROLLO Y PRUEBAS DEL PROTOTIPO	28
6.3.1 Caracterización Potencia vs corriente de un láser semiconductor tipo VCSEL	28
6.3.2 Introducción de la señal	32
6.3.3 Dispositivo de acople y diodo láser (VCSEL)	32

6.3.4	Fotodetector y antena	34
6.3.5	Atenuación	36
7.	DESCRIPCIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO	37
8.	CONCLUSIONES	38
	BIBLIOGRAFIA	39
	ANEXO A.....	41

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Bandas ISM	18
Tabla 2. Bandas de Frecuencia ITU-R.....	23
Tabla 3. Materiales	26
Tabla 4. Propiedades ópticas fibra multimodo	33
Tabla 5. Costo de la implementación.....	37

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de radio sobre fibra	13
Figura 2. Redes de acceso de banda ancha	14
Figura 3. Recorrido de la luz en fibra óptica multimodo y monomodo	22
Figura 4. Metodología del Trabajo de Grado planteado.....	25
Figura 5. Diagrama de Bloques	27
Figura 6. Fuente de corriente con regulador LM317	28
Figura 7. Polarización (Ánodo-Cátodo).....	29
Figura 8. Potencia vs Corriente.....	29
Figura 9. Corriente 1,35 mA, Potencia 0,135 micro Wattios	30
Figura 10. Corriente 2 mA, Potencia 11,89 micro Wattios	30
Figura 11. Corriente 4 mA, Potencia 61,1 micro Wattios	31
Figura 12. Corriente 6 mA, Potencia 77,2 micro Wattios	31
Figura 13. Corriente 8 mA, Potencia 94 micro Wattios	31
Figura 14. Especificaciones Generador de señales.....	32
Figura 15. Dispositivo de acople	33
Figura 16. Fotos del circuito.....	34
Figura 17. Resultado Gráfica LabVolt	35

LISTADO DE ANEXOS

Pág.

1. Anexo A..... 42

RESUMEN

Código	Nombre	Teléfono	E-Mail
701592	MICHAEL ALBERTO CASTILLO ALVAREZ	3123142472	macastillo@ucatolica.edu.co
701730	DIEGO ARMANDO MORENO CALDERÓN	3505000032	damoreno@ucatolica.edu.co

El presente trabajo de grado se basó en el desarrollo de un transmisor de frecuencias de radio sobre fibra, específicamente para tener una capacidad mayor de transmisión y pérdidas de propagación bajas además de lograr un ancho de banda superior en transmisión de señales de RF.

El trabajo estuvo enmarcado en el tipo de investigación tecnológica. Se empleó una serie de técnicas para recolectar la información necesaria que apoyaran la investigación. Para la elaboración de este sistema se realizaron pruebas de laboratorio que permitieron llegar a resultados y conclusiones en pro del avance del trabajo de grado, trabajando en la caracterización de los elementos hasta llegar a la transmisión por medio de una antena que permitiera la recepción de la señal.

De esta manera se pudo concluir que con la implementación de este sistema se genera un bajo consumo de potencia y resalta un ancho de banda generoso que brinda la fibra óptica para la transmisión de señales de radio frecuencia.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha evidenciado un crecimiento exponencial del número de usuarios y dispositivos móviles, por lo tanto, el tráfico en las redes ha sido mayor. En 1991, menos del 1% de la población mundial tenía acceso a un teléfono móvil. A finales del 2001, se estima que una de cada seis personas tenía un teléfono móvil¹. Según la empresa Deloitte, en el año 2018 se estima que hay una penetración de los Smartphones en países desarrollados del 85%, y se anticipa que en el 2023 superará el 90%, lo que generará un aumento de 5 puntos en comparación al presente año².

Hasta el momento, han salido a la luz cuatro estándares de telefonía móvil; en los años 80's los sistemas móviles eran analógicos y se denominaron de primera generación (1G), luego de éstos, en la década de 1990 se lanzaron los sistemas móviles como el Sistema Global para comunicaciones Móviles (GSM), estos se denominaron como segunda generación (2G). Se incorporaron mejoras tecnológicas a esa generación, como 2.5G y 2.75G los cuales abonaron el camino para llegar a 3G, el cual tenía la habilidad de permitir la transmisión de voz y datos por medio telefónico o videoconferencia. Luego llega un avance tecnológico denominado cuarta generación (4G) en el cual los datos y llamadas son transmitidos a través de conmutación de paquetes a una velocidad superior a 1 GBps y posee un ancho de banda mayor.

La transmisión de Radio sobre Fibra (RoF) puede preparar el camino para posibles soluciones para redes 5G. Esta tecnología utiliza enlaces de fibra óptica y de esta forma envía señales de radio desde una central a una antena. RoF sale a la luz para incrementar las redes de telecomunicaciones y lograr una eficiencia de recursos como antenas remotas, estaciones satelitales y sistemas inalámbricos.

En este Trabajo de grado se abordó como el ancho de banda es mayor al utilizar la fibra como medio de transporte de señales de radiofrecuencia, además, brinda pérdidas de señal muy bajas las cuales están entre 0.3 dB/km para 1550 nm y 0.5 dB/km para 1310 nm.

¹ NG'OMA ANTHONY. Radio over - -Fiber Technology for Broadband Wireless Communication Systems. 2005

² Deloitte, Departamento de Comunicación, Marca y Desarrollo de Negocio, Madrid. 2018. Disponible en: <https://perspectivas.deloitte.com/hubfs/Campanas/Predicciones-TMT/TMT-Trends-2018-Folleto.pdf>

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Cisco visual networking index: Forecast and methodology.

Actualmente el requerimiento muy alto en tasas de transmisión y el uso de gran ancho de banda en redes, ya sea alámbricas o inalámbricas, ha incrementado sustancialmente en la última década gracias al gran desarrollo tecnológico y el acceso a la misma por parte de los usuarios, y se presume que dicho comportamiento sea constante para un futuro cercano, como lo dice el reporte del fabricante de equipos Cisco System, basado en mediciones de tráfico de internet así como el tráfico IP global que superará el umbral del zettabyte.

Teniendo en cuenta este aumento de tráfico en la red, las nuevas tecnologías y desarrollos en redes, híbridas, por ejemplo, las redes de acceso óptico e inalámbricas como radioenlaces pueden suministrar ancho de banda más amplio a los usuarios, así como las redes inalámbricas pueden ser más versátiles en cuanto movilidad pero que no satisfacen el ancho de banda requerido³.

Por lo anterior se sugiere la integración de una sola infraestructura de red, híbrida, como lo puede ser Radio sobre Fibra. Un sistema de telecomunicaciones híbrido conocido como radio sobre fibra, permite utilizar ancho de banda más amplio en la red de acceso abriendo la posibilidad de obtener nuevos servicios y mercados donde incursionar, mediante un prototipo realizado en laboratorio que tendrá como base una antena transmisora y una receptora, foto transmisor y una guía de fibra óptica. Se requiere analizar todo el proceso de transmisión para una frecuencia de 900 MHz.

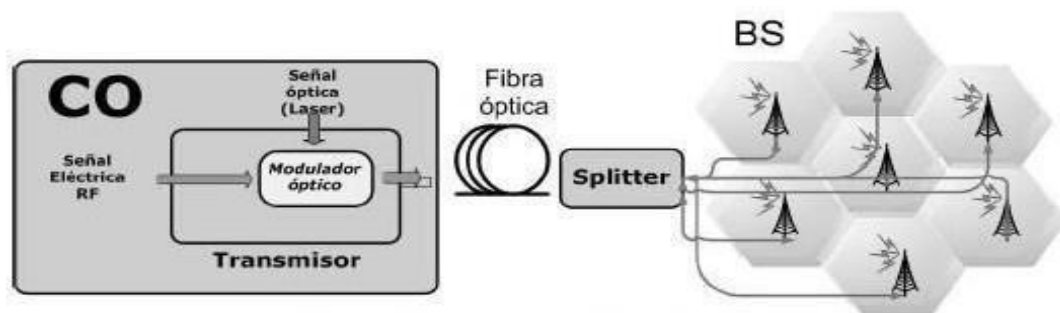
³ Cisco Systems, Cisco visual networking index: Forecast and methodology, 2012-2017. Disponible en: http://www.davidellis.ca/wp-content/uploads/2012/08/cisco-vni_c11-481360.pdf

Hacia la próxima generación de sistemas de Radio sobre Fibra de banda ancha: retos tecnológicos en la banda de las ondas milimétricas.

La reducción de costos en la construcción de redes móviles y fijas y el aumento de la capacidad de transmisión y el ancho de banda, hacen que los sistemas RoF tengan un progreso significativo y sean apetecidos por la industria liderando su implementación.

El éxito en la operación de esta red, consiste en la generación y transmisión de la señal, ya sea en redes cableadas o inalámbricas, utilizando gran velocidad de manera simple y confiable, destacando su implementación híbrida. En los sistemas RoF, se utiliza la fibra óptica para transmitir señales de radio hacia las estaciones base (BS), cuando se agrupan varias BS, es necesario dividir las señales mediante un dispositivo electrónico y pasivo conocido como divisor de señal o splitter, como se puede observar en la figura 1.

Figura 1. Sistema de radio sobre fibra



Fuente: <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/viewArticle/3627/4538#f1>

El poder concentrar en un solo lugar (CO) los equipos de mayor valor de alta frecuencia, hace resaltar una gran ventaja, y es permitir la instalación de equipos adicionales en lugares distantes, ya que es sencillo, son equipos de poco peso, así como pequeños y de bajo consumo de potencia⁴

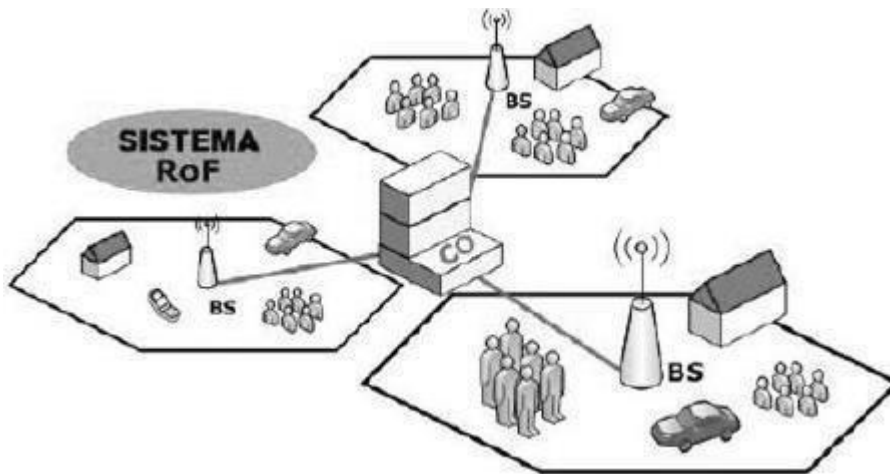
Adicionalmente cabe resaltar que en este tipo de tecnologías se puede aprovechar alto ancho de banda que suministra la fibra óptica para el tratamiento de señales de radiofrecuencia y el poder compartir los servicios implementados entre un número determinado de usuarios⁵.

⁴ GRANADA, John James. Hacia la próxima generación de sistemas de Radio sobre Fibra de banda ancha: retos tecnológicos en la banda de las ondas milimétricas. [En línea]. Barranquilla, Colombia. 2013. Vol. 29 N° 2 julio- diciembre de 2011. Disponible en:

<http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/viewArticle/3627/4538>

⁵ M. Milosavljevic, P. Kourtessis, and A. Gliwan, "Advanced PON topologies with wireless connectivity", Transparent Optical Networks 11* International Conf., Sao Miguel, 2009, pp. 1-4

Figura 2. Redes de acceso de banda ancha



Fuente: <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/viewArticle/3627/4538>

Convergencia de sistemas de comunicación ópticos e inalámbricos.

Dentro de los diferentes trabajos realizados actualmente, en donde se pueden ver las diferentes alternativas y ventajas en la implementación de sistemas que transportan señales de radio frecuencia utilizando enlaces de fibra óptica, un estudio⁵ resalta los tipos de tecnología con los cuales se pueden generar esquemas ópticos de ondas milimétricas y elevadores de frecuencia en sistemas RoF.

Ultra-High Data-Rate 60 GHz Radio-Over-Fiber Systems Employing Optical Frequency Multiplication and OFMD Formats

También en el estudio “Red híbrida de acceso óptico que integra sistemas Fiber-to-Home y Radio-Over-Fiber”, se presentan algunos estudios que abordan las limitaciones que presenta las señales analógicas en la transmisión usando enlaces de fibra. Asimismo, se encuentran estudios que muestran los efectos no lineales que presentan los diodos laser cuando se configuran en modulaciones directas⁶. Así pues, el objetivo de esa tendencia presume el alcance de conexiones inalámbricas que pueden llegar a velocidades de transmisión de 10Gbps, igualando a las conexiones fijas. De este modo, una limitante presente es el desarrollo de dispositivos que sean capaces de operar en este rango de frecuencias y a su vez, mejorar las técnicas de modulación que existen actualmente, así como mejorar los dispositivos receptores digitales. DSP (Digital Signal Processing).

⁶ Journal of Lightwave Technology (Volume: 28, Issue: 16, Aug.15, 2010). Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5453014>

Generación de señales para sistemas radio sobre fibra basada en combinación óptica

De este modo se analizaron diferentes propuestas de comunicación implementadas mediante enlaces de radio sobre fibra óptica y algunos conceptos de técnicas utilizadas para dicho propósito. Dentro de estas propuestas se encuentra el artículo “Generación de señales para sistemas radio sobre fibra basados en combinación óptica”, este artículo presenta una comparación entre diferentes técnicas de generación de señales para el transporte de información en sistemas RoF, implementando técnicas de combinación óptica, centrándose en tres técnicas principales de generación como son: brazo doble, generación en paralelo y serial de los cuales se puede inferir una descripción de los elementos, la configuración y los procesos por los cuales se desarrolla la generación de señales RoF⁷.

Los sistemas híbridos óptico-inalámbricos, ofrecen una solución confiable a la demanda actual de acceso y seguridad en servicios tele/informáticos, ya que se puede combinar las ventajas más destacadas de cada tecnología, entre lo que se puede mencionar la movilidad y flexibilidad en conexiones inalámbricas con mayor ancho de banda, mayor seguridad y bajo consumo para los servicios basados en tecnología de fibra óptica.

Hybrid optical access network integrating fiber-to-the-home and radio-over-fiber systems.

Este artículo resalta la demanda del usuario en el ancho de banda y como esto genera la introducción de servicios que suplan dicha necesidad. La telefonía que usa el protocolo de internet VOIP y televisión de alta definición impulsan en gran medida el uso de la fibra óptica por parte del usuario, lo cual requiere un tendido de redes ópticas (FTTH) que abarquen tramos más cercanos al hogar, tendencia que ya varios países han implementado. Del mismo modo, las redes inalámbricas cada vez más son las preferidas por los usuarios, la movilidad ya es inherente en las conexiones personales, dando acceso a servicios de internet, telefonía, acceso a redes WiFi, y sistemas actuales inalámbricos fijos y móviles basados en WiMax. Lo anterior requiere de un acceso con características flexibles en movilidad, acceso instantáneo en cualquier lugar y que no represente un gran costo⁸⁸.

⁷ Ingeniería, Investigación y Tecnología Volume 16, Issue 4, October–December 2015, Pages 585-598. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1405774315000438>

⁸ IEEE Photonics Technology Letters (Volume: 19, Issue: 8, April 15, 2007) Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4139644>

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, las redes ópticas de acceso entregan un ancho de banda considerablemente alto a los usuarios de hasta 100 GHz sobre 1 Km de distancia. Las redes inalámbricas, por otra parte, brindan cierta tranquilidad al permitir la movilidad en los usuarios, sin embargo, el ancho de banda al que llega es de 40 MHz, el cual no es el esperado. Adicionalmente, en términos de operación y mantenimiento, no es rentable tener redes de acceso separadas. Al conocer esto, se evidencia la necesidad de que se integren éstas dos redes en una sola infraestructura que pueda compartirse y de esta forma se distribuyen contenidos a usuarios fijos y móviles.

Otro tema a tratar es la atenuación, ésta puede llegar a superar los 10 dB/Km en la banda de frecuencias de microondas en comparación con la fibra óptica Monomodo en donde se presenta una atenuación de 0.2 dB/km, independientemente de la banda de frecuencia por la cual se transporte. Cada vez que se introducen nuevos servicios multimedia a los usuarios, se requiere que el ancho de banda soporte las exigencias de la red de acceso, para facilitar esto, existe la fibra óptica; pero los principales proveedores se encuentran con el inconveniente y un factor de riesgo que es el de designar un monto elevado para desplegar una infraestructura de red que pueda llegar a los usuarios.

Esto nos lleva a plantear la siguiente pregunta de Investigación:

¿De qué manera se puede hacer un despliegue de sistemas RoF sobre la infraestructura de redes móviles?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Construir un sistema de transmisión de radio sobre fibra óptica en frecuencia de microondas

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar las aplicaciones de los sistemas de Radio sobre Fibra Óptica
- Construir una antena en frecuencia de microondas para el sistema de transmisión
- Caracterizar los componentes ópticos y electrónicos del sistema de radio sobre fibra
- Realizar pruebas de desempeño del sistema de transmisión de radio sobre fibra a la frecuencia escogida.

3. JUSTIFICACIÓN

La necesidad de mejorar el ancho de banda, disminuir los costos altos en equipos, en operación y mantenimiento, hace que se profundice en investigaciones y desarrollo de la tecnología Radio sobre fibra (RoF). RoF ofrece un tipo de conexión flexible manteniendo una disponibilidad de red superior. Aprovecha los beneficios tanto de las redes inalámbricas como las redes de fibra óptica, con el propósito de tener acceso a altas velocidades y con una relación costo/beneficio considerable⁴. Las comunicaciones por medio de la tecnología de fibra óptica son esenciales en combinación con redes inalámbricas, además, la integración del transporte de señales fijas e inalámbricas sobre una misma red es un adelanto y un suceso decisivo para lograr la convergencia en la red.

Se abordó este tema con el objetivo de investigar y proponer una solución que disminuya costos, mejore el ancho de banda actual en las comunicaciones móviles, evitando trabajar con redes por separado e integrando dos tecnologías como lo es la inalámbrica y la fibra óptica. Con esta propuesta se analizó la transmisión de una señal o datos a través de un sistema de telecomunicaciones de radio sobre fibra, que funcionó en la banda ISM sobre los 900 MHz, la cual está regulada por La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), en su artículo 5 que establece las bandas ISM (Industrial, Scientific y Medic) para uso libre.

Tabla 1. Bandas ISM

Límite Inferior MHz	Limite Superior MHz
6.765	6.795
13.553	13.567
26.957	27.283
40.66	40.7
902	928
2400	2483.5
5725	5875
24000	24250
61000	61500
122000	123000
244000	246000

Fuente: Agencia Nacional Del Espectro-Colombia. Resolución ANE 0711 de 2016 Bandas ICM Colombia. 11 Oct 2016. 2016.

3.1 DELIMITACION

3.1.1 Espacio.

Este Trabajo de Grado se ejecuta en la ciudad de Bogotá, en la localidad de Teusaquillo, específicamente en la Universidad Católica de Colombia Sede El Claustro, ubicada en la Diagonal 46 A # 15 B – 10.

3.1.2 Tiempo.

El trabajo de grado se desarrolló durante el segundo semestre del año 2018-III.

3.1.3 Contenido.

En este trabajo de grado se plantea el uso de un sistema basado en Radio sobre fibra óptica, en la cual se planteará una etapa transmisora y receptora, para luego construir un prototipo que permita realizar pruebas y verificar su eficacia. El proyecto consta principalmente de un Laser VCSEL (Vertical-Cavity Surface- Emitting Laser) y un Fotodetector que se encargan del tratamiento de la señal del espectro eléctrico al espectro óptico, un cable de fibra óptica Monomodo, así como una antena dipolo para la transmisión de la señal de RF.

3.1.4 Alcance.

Se diseñará e implementará un sistema de transmisión RF utilizando un láser VCSEL, un Fotodetector un cable de fibra monomodo con una dispersión típica de 20 ps/nm·Km que tiene pérdidas de 0.2 dB/Km y una antena de transmisión, la cual operará en la banda ISM de 900 MHz ya que son bandas libres y posee un impacto en la expansión en la cobertura de redes celulares actuales. Esta banda utiliza FHSS y DHSS como técnicas de modulación (las cuales usan FSK y QPSK) para evitar efectos interferentes, con el fin de analizar el comportamiento de la señal a través de un sistema RoF.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 MARCO TEORICO – CONCEPTUAL

Es necesario plantear un marco de referencia que fundamente el conocimiento a través de los elementos que inscriben el problema, que transmiten la información y que permiten tomar una posición frente al estado actual de lo que se conoce como radio sobre fibra óptica y su implementación TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación). Por lo que se describen conceptos que inciden en dicha situación, abordando sus dimensiones, permitiendo así la descripción de los conceptos básicos que nos guían a lo largo de la presente investigación. Asimismo, se precisan a continuación conceptos que nos permitirán contextualizarnos en la medida en que avancemos en el abordaje de la temática de interés:

En este trabajo se ejecutó bajo las bandas ISM (Industrial Scientific Medical), las cuales pertenecen a bandas de radiofrecuencia electromagnética que son de uso no comercial y para fines industriales, científicos y médicos. Estas bandas pueden utilizarse sin necesidad de licencia siempre que se respeten unos determinados límites de potencia y características de transmisión⁹. Se tendrá en cuenta el uso de un sistema de comunicaciones ópticas, que se puede establecer mediante una fuente de luz, que actúa como transmisor y que corresponderá con un oscilador a frecuencias ópticas; el aire o una guía de onda óptica será el medio de transmisión para terminar con un receptor o detector de luz¹⁰. La fibra óptica cuenta con dos tipos de guía: la monomodo y la multimodo. Al poseer un núcleo muy estrecho, la fibra monomodo permite un solo modo de transmisión. La atenuación que maneja es de 0,1 dB y 0,4 dB por cada kilómetro de extensión. Estas fibras requieren un acoplamiento de luz muy confinado y preciso ya que su núcleo mide 8 μm y 10 μm .

Por otro lado, aquellas fibras en las que el núcleo es más amplio, son capaces de propagar varios modos de transmisión simultáneamente. Estas fibras reciben el nombre de multimodo, y se puede encontrar una atenuación típica de entre 0,3 dB y 1 dB por kilómetro. El acoplamiento de luz en sus diferentes modos es más sencillo y se encuentran núcleos con diámetros cercanos a los 50 μm ó 62,5 μm . Debido a esto, es posible utilizar un LED como fuente emisora, así como conectores más sencillos y una instalación y mantenimiento con menos coste que la fibra monomodo¹⁰.

Del mismo modo que tecnologías móviles, 2G (o GSM), 3G y 4G (LTE), la tecnología, que actualmente esta es expansión y perfeccionamiento en algunos países, el 5G está implementada sobre frecuencias de radio usadas comúnmente en televisión, radio teléfonos comerciales, WiFi e incluso los radio controles para abrir puertas o garajes, permitiendo de esta forma generar diferentes usos aumentando

⁹ Ingeniería de Microondas, 9 octubre 2012. Disponible en: <http://microondasism.blogspot.com/2012/10/bandaism-lasbandas-ism-industrial.html>

¹⁰ Características de transmisión de fibras ópticas, Capítulo 3. Disponible en http://www.iuma.ulpgc.es/users/jrsendra/Docencia/Com_Opt_I/download/Com_Opt_I/Temario/caracteristicas.pdf

la velocidad y la facilidad de navegación, respondiendo a la demanda actual que genera la internet móvil y el gran consumo de video en dispositivos móviles, el cual requiere gran ancho de banda³.

La transmisión de radio sobre fibra óptica se logra mediante el proceso de conversión eléctrico-óptico el cual requiere modular el láser permitiendo que la intensidad óptica funcione en modo ON – OFF y en lo que respecta al receptor, se utiliza comúnmente un fotodetector el cual se encarga de convertir la señal recibida del dominio óptico al dominio eléctrico antes de ser amplificada y radiada por la antena³.

En los sistemas RoF se transmiten las señales de radio por medio de la fibra óptica hasta las estaciones base (BS), Estas pueden encontrarse en varios grupos de estaciones, cuando esto sucede, se implementa unos dispositivos llamado divisor o splitter, el cual se encarga de dividir la señal en las diferentes estaciones base. Para lograr la modulación en el sistema RoF se modula en primera instancia eléctricamente y luego ópticamente, por lo cual, se tiene una señal eléctrica modulada en amplitud, fase o frecuencia, para luego pasar a las aplicaciones inalámbricas con las especificaciones requeridas. Las señales ópticas son transformadas en señales eléctricas mediante los receptores ópticos para recuperar la información transmitida a través de los sistemas de comunicación óptica. El fotodetector es el principal componente, que convierte la luz en electricidad a través del efecto fotoeléctrico.

Dentro de este trabajo de grado también se tendrá en cuenta la utilización de una antena para transmitir y recibir las señales o datos, antena que el instituto de ingeniería eléctrica y electrónica (IEEE) define como aquella parte de un transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas¹¹. Dicho de otro modo, la antena es la transición entre un medio guiado y el espacio libre.

La tecnología Radio sobre fibra asocia la comunicación por radio con comunicación, que puede reducir el costo de la instalación y el mantenimiento de redes inalámbricas, así como la distribución optimizada de señales de radiofrecuencia (RF). Su objetivo es proporcionar una mayor cobertura y menor señal atenuación para redes inalámbricas de sensores, dado que las comunicaciones entre grandes distancias están hechas a través de fibras ópticas¹². Por lo anterior es importante que el acoplamiento de impedancias entre los diferentes componentes que se encuentran en un sistema de comunicación sea siempre óptimo para lograr la mayor eficiencia posible en la transferencia de un radioenlace. De no ser se generarán ondas estacionarias debido a la gran parte de energía que puede reflejarse en la línea de transmisión, ocasionando distorsiones en la señal que viaja.

¹¹ Fibra Óptica, Capítulo II. Disponible en: <http://virtual.urbe.edu/tesispub/0073954/cap02.pdf>

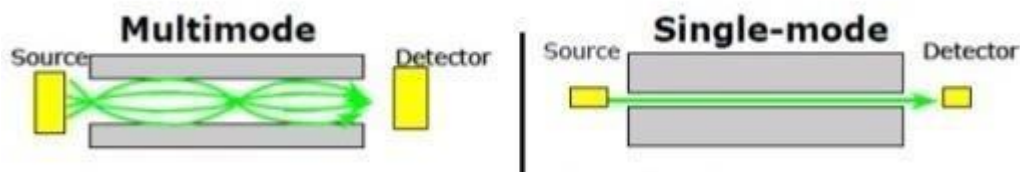
¹² Relación de ondas estacionarias, 25 enero 2012. Disponible en: <https://hk3eu.com/2015/01/25/relacion-de-ondas-estacionarias/>

Los radioenlaces son redes de acceso que interconectan los distintos puntos de los abonados o repetidores a una estación Central, es un conjunto de elementos y dispositivos basados en instalaciones que permiten la interconexión de sistemas. Típicamente estos enlaces funcionan entre los 800 MHz y 42 GHz¹³.

Transceiver de Fibra Óptica

Es un dispositivo que recibe y transmite información o datos por medio de la fibra óptica. La distancia de transmisión del transceptor monomodo es mayor que la de multimodo. Normalmente estos elementos logran un alcance de aprox. 550 mts.

Figura 3. Recorrido de la luz en fibra óptica multimodo y monomodo



Fuente: <http://www.mercadoit.com/blog/analisis-opinion-it/transceivers-de-fibra-optica-monomodo-vs-multimodo/>

4.2. MARCO LEGAL

El uso del espectro radio eléctrico en Colombia está regulado por la Agencia Nacional del Espectro (ANE), la cual especifica en la Resolución 711 de 2016, el uso “sin necesidad de contraprestación o pago” de frecuencias o bandas de frecuencias definidas en dicha resolución. Esta resolución establece las bandas de frecuencia de libre uso dentro del territorio nacional, así como también y de acuerdo a lo descrito en el artículo 11 de la Ley 1341 de 2009 los parámetros técnicos, modos de operación de las bandas, aplicaciones y demás condiciones técnicas y operativa específicas para su optima operación.

“Es importante resaltar, que la mencionada resolución derogó las resoluciones 1520 de 2002, 2190 de 2003, 689 de 2004, 1689 de 2007, 2544 de 2009 y 410 de 2010 del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, con el fin de compilar y actualizar las condiciones establecidas en las mismas”¹⁴.

ISM es el acrónimo del nombre que se le da a las bandas de frecuencias para uso sin licencia las cuales son de uso no comercial en áreas industriales, científica y médica a nivel internacional. Estas bandas son utilizadas por los teléfonos inalámbricos domésticos, las microondas, dispositivos BlueTooth, WiFi en redes LAN, entre otras tecnología.

¹³ MUÑOZ, CLAUDIA. Cálculo y diseño de radio enlace WIMAX, Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/10776/EG-1409-Mu%C3%B1oz%20Cuiza.%20Claudia%20Melina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

¹⁴ AGENCIA NACIONAL DEL ESPECTRO-COLOMBIA. Resolución ANE 0711 de 2016 Bandas ISM Colombia. 11 Oct 2016. 2016.

Sobre la década de 1980, la Comisión Federal de Comunicaciones FCC asignó las bandas de las redes inalámbricas de la siguiente manera:

- ISM 902-928 MHz
- 2.4 - 2.4835 GHz,
- 5.725 - 5.85 GHz

En estos momentos las bandas definidas por la ITU-R son:

Tabla 2. Bandas de Frecuencia ITU-R

Banda	Anchura	Región ITU
6,765-6,795 MHz	30 kHz	Todas
13,53-13,567 MHz	14 kHz	Todas
26,957-27,283 MHz	326 kHz	Todas
40,66-40,70 MHz	40 kHz	Todas
433,05-434,39 MHz	174 kHz	1(EMEA)
902-928 MHz	26 kHz	2(América)
2,4-2,5 GHz	100 kHz	Todas
5,725-5,875 GHz	150 kHz	Todas
24-24,25 GHz	250 kHz	Todas
61-61,5 GHz	500 kHz	Todas
122-123 GHz	1 GHz	Todas
244-246 GHz	2 GHz	Todas

Fuente: Los autores

Según la anterior tabla, las bandas ISM se encuentran ubicadas en tres distintas regiones del espectro electromagnético, las bandas en color verde y naranja pertenecen a la región de radiofrecuencias exclusivamente a VHF (very high frequency) y UHF (ultra high frequency) respectivamente. Por otra parte, las bandas en color rojo pertenecen a la región de microondas la cual va desde 1 GHz hasta 300 GHz. Las bandas ISM fueron definidas por la ITU en el artículo 5 de las Regulaciones Radio (RR), concretamente puntos 5.138 y 5.150¹⁴.

Dentro de los Organismos Internacionales se encuentran:

TIA (Telecommunications Industry Association), fundada en 1985 después del rompimiento del monopolio de AT&T. Desarrolla normas de cableado industrial voluntario para muchos productos de las telecomunicaciones y tiene más de 70 normas preestablecidas.

ANSI (American National Standards Institute), es una organización sin ánimo de lucro que supervisa el desarrollo de estándares para productos, servicios, procesos y sistemas en los Estados Unidos. ANSI es miembro de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) y de la Comisión Electrotécnica

Internacional (International Electrotechnical Commission, IEC).

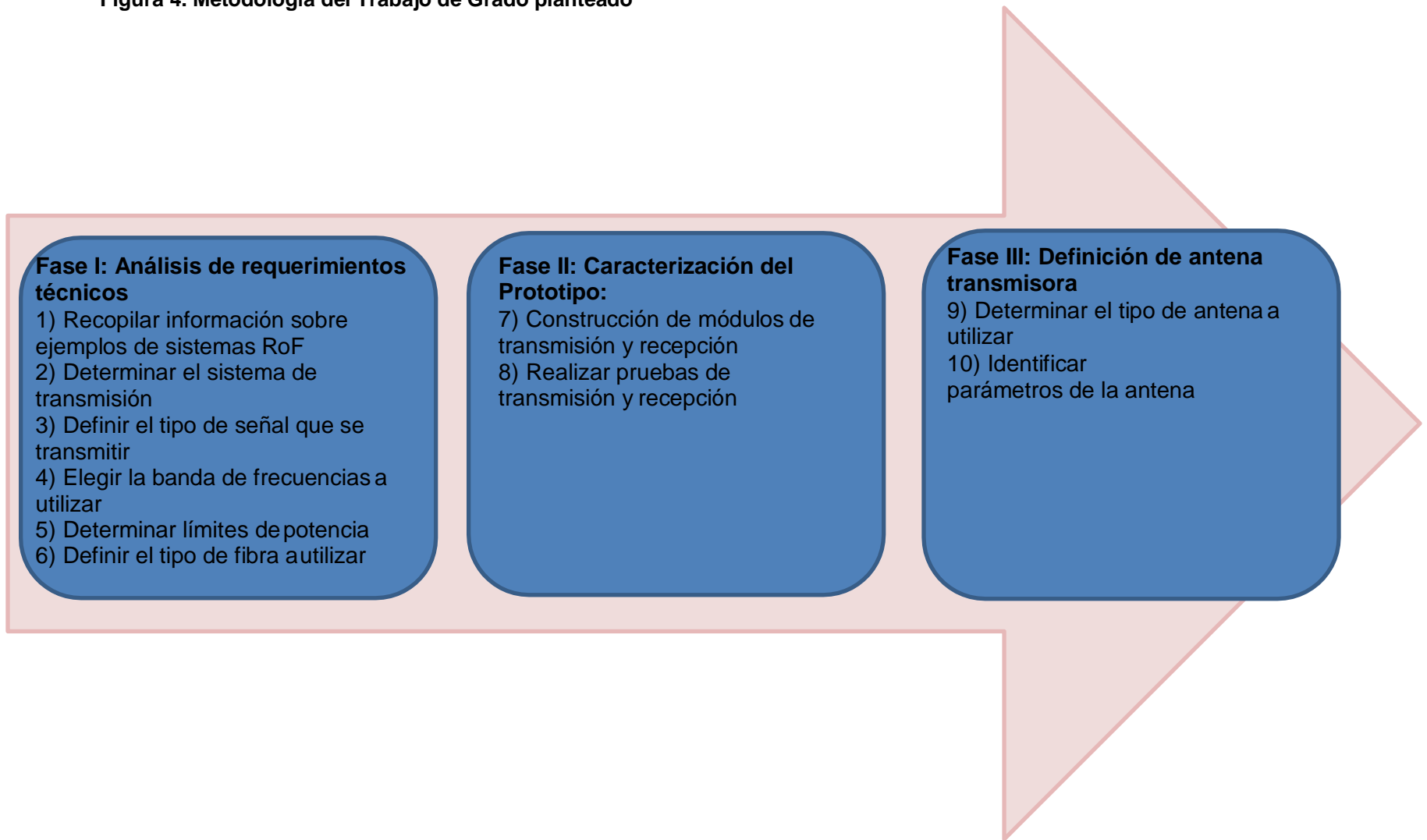
EIA (Electronic Industries Alliance), es una organización formada por la asociación de las compañías electrónicas y de alta tecnología de los Estados Unidos, cuya misión es promover el desarrollo de mercado y la competitividad de la industria de alta tecnología de los Estados Unidos con esfuerzos locales e internacionales de la política.

ISO (International Standards Organization), es una organización no gubernamental creada en 1947 a nivel mundial, de cuerpos de normas nacionales, con más de 140 países.

IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y de Electrónica), principalmente responsable por las especificaciones de redes de área local como 802.3 Ethernet, 802.5 TokenRing, ATM y las normas de GigabitEthernet.

5. METODOLOGÍA

Figura 4. Metodología del Trabajo de Grado planteado













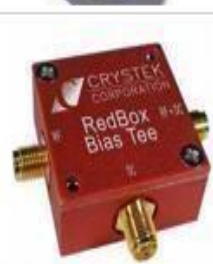



5.1 DESCRIPCIÓN DE MATERIALES

Dentro del Trabajo de Grado utilizamos diferentes componentes electrónicos, los cuales se pueden observar en la siguiente tabla 3

5.1.1 MATERIALES

Tabla 3. Materiales

#	Descripción	Componente
1	LM317	
2	Condensadores	
3	Resistencias	
4	Medidor de Potencia (OPM)	
5	LM324	
6	Laser VCSEL	
7	Fotodetector	
8	1 mt de Fibra Multimodo	
9	Conectores SC/UPC y ST/UPC	
10	Transistores 2N3904	
11	2 Conectores de audio 3.5mm	
12	1 Parlante	
13	T de Polarización	
14	Antena Dipolo	

Fuente: Los Autores

6. IMPLEMENTACIÓN

6.1 PROCEDIMIENTOS REALIZADOS

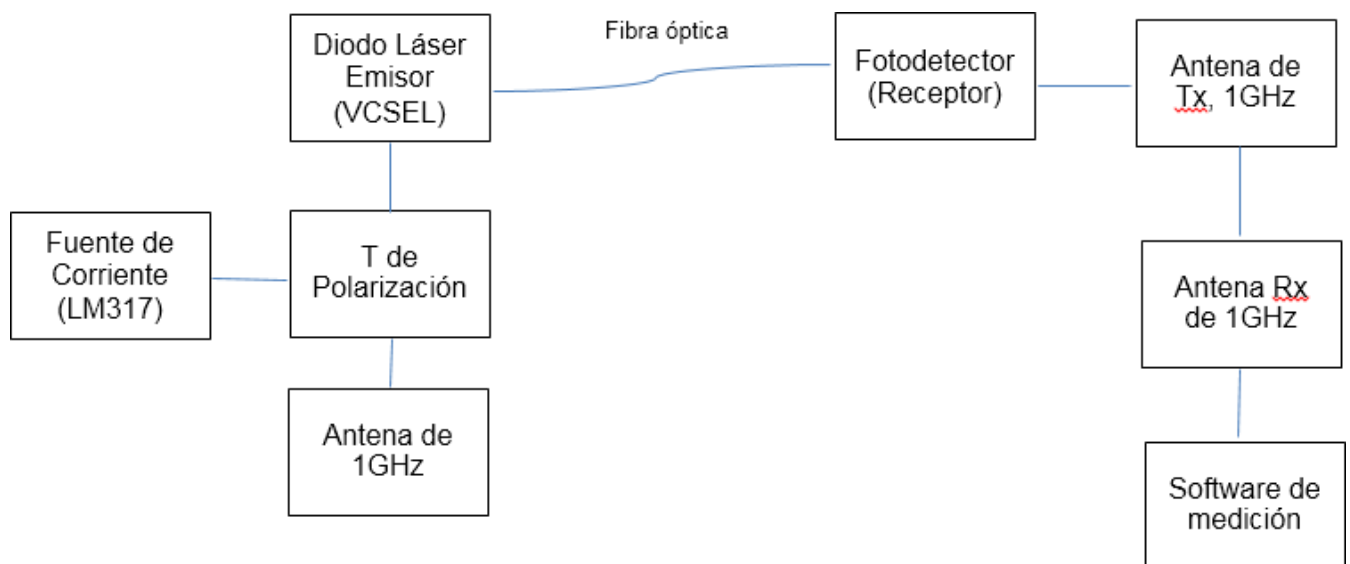
Los pasos desarrollados en la implementación del presente Trabajo de grado fueron:

- 1- Verificación de componentes que se importaron, cotización y realización de la respectiva compra ya que tardaron más de 15 días en llegar al país.
- 2- Caracterización de la potencia vs la corriente de un láser semiconductor tipo VCSEL, esto con el fin de obtener la corriente umbral del dispositivo y su zona lineal de operación.
- 3- Caracterizar el fotodetector y asegurarse de respetar la polarización de la conexión.
- 4- Definir la señal RF que se transmitió.
- 5- Se utilizó una antena del laboratorio de LabVolt con la cual se transmitió la señal a través de la fibra óptica.

6.2 DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO

Para lograr un mayor entendimiento del sistema, se explica la descripción del prototipo en el siguiente diagrama de bloques:

Figura 5. Diagrama de Bloques



Fuente: Los Autores

6.3 DESARROLLO Y PRUEBAS DEL PROTOTIPO

6.3.1 Caracterización Potencia vs corriente de un láser semiconductor tipo VCSEL

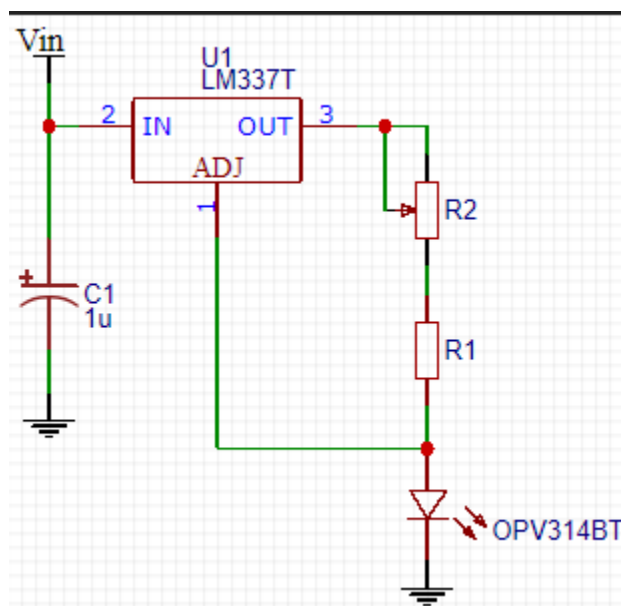
En esta etapa se obtuvo experimentalmente la característica de corriente vs potencia óptica emitida por un láser semiconductor VCSEL a 850 nm y luego se analizaron los datos obtenidos para obtener la corriente de umbral del dispositivo y su zona lineal de operación.

Para realizar esto se utilizaron los siguientes materiales:

- Medidor de potencia óptica (OPM)
- Una fuente de corriente variable
- Un láser VCSEL OPV314AT
- Una fibra multimodo ST/UPC - SC/UPC
- Un led rojo
- Potenciómetro o Trimmer de 1K
- Resistencias entre 100 ohmios a 150 ohmios
- LM317

Se debe limitar la corriente máxima de la fuente a 10 mA ya que es la corriente en la cual trabaja el diodo laser, esta información se encuentra en el Datasheet del VCSEL la cual se incluye en el Anexo A, para esto se realizó el siguiente circuito en una protoboard conectando el trimmer en serie a las resistencias y se probaron los valores de corriente que entrega la fuente sustituyendo el láser por un led.

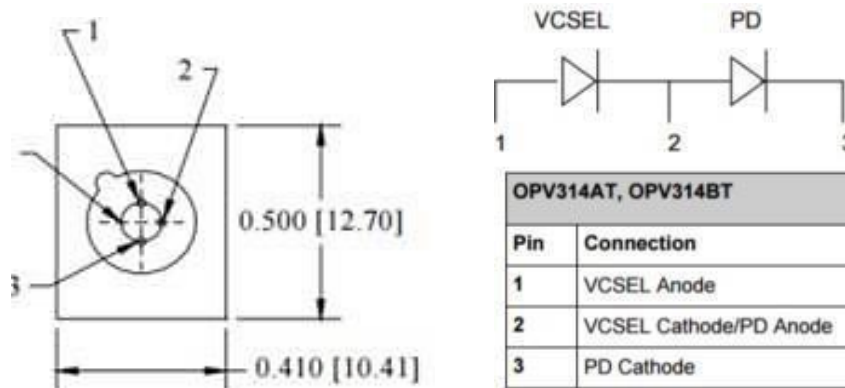
Figura 6. Fuente de corriente con regulador LM317



Fuente: Los Autores

A continuación, se conectan los elementos. Antes de realizar la conexión se debe revisar en el datasheet del VCSEL para asegurarse de respetar la polaridad de la conexión, es decir, que la fuente sea entregada en el sentido directo del diodo (ánodo – cátodo) como se observa en la figura 7:

Figura 7. Polarización (Ánodo-Cátodo)

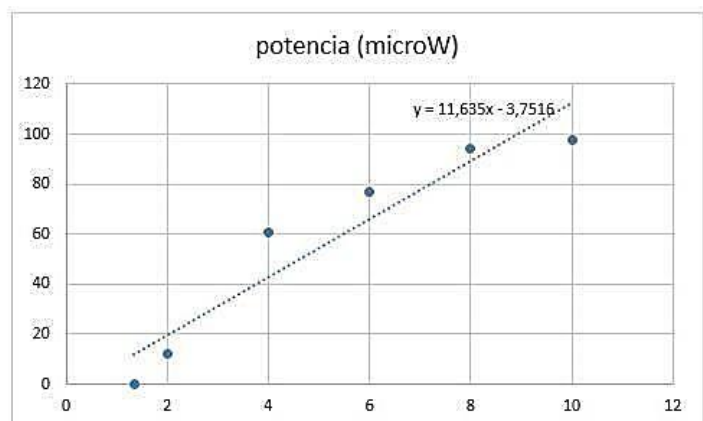


Fuente: Los Autores

Luego se enciende el medidor de potencia óptica, se fija las unidades de medida en micro Watios y se fija la longitud de onda en 850 nm. Se fijan 6 puntos de corriente entre 0 y 10 mA y se registraron dichos valores de potencia óptica detectada para cada corriente indicada. Se graficaron los datos obtenidos utilizando Excel y se halló el corriente umbral del láser. En términos prácticos esta corriente se puede hallar prolongando la zona lineal del diodo hasta su corte o definiendo una regresión lineal de la curva igualándola a 0 como se observa en la siguiente figura 8.

Figura 8. Potencia vs Corriente

corriente (mA)	potencia (microW)
1,35	0,135
2	11,89
4	61,01
6	77,2
8	94
10	98



Fuente: Los autores

De acuerdo a esta gráfica, se determina que la potencia máxima emitida es de 0,135 micro Wattios y, de acuerdo a la ecuación de la recta que es $y = 11,635x - 3,7516$, igualándola a 0: $11,635x - 3,7516 = 0$ da un resultado

de 0,3244 lo cual es la corriente umbral, es decir, la mínima de operación del diodo.

Las mediciones de la gráfica anterior se realizaron en el laboratorio y están en las figuras 9, 10, 11, 12 y 13:

Figura 9. Corriente 1,35 mA, Potencia 0,135 micro Wattios



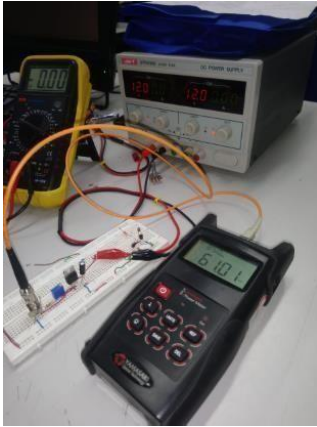
Fuente: Los autores

Figura 10. Corriente 2 mA, Potencia 11,89 micro Wattios



Fuente: Los autores

Figura 11. Corriente 4 mA, Potencia 61,1 micro Wattios



Los autores

Figura 12. Corriente 6 mA, Potencia 77,2 micro Wattios



Los autores

Figura 13. Corriente 8 mA, Potencia 94 micro Wattios



Los autores

6.3.2 Introducción de la señal

Teniendo en cuenta que la señal que se debe introducir y transmitir es RF, se utilizó el Generador de Señales de la Universidad Católica de Colombia y diseñado por LabVolt el cual entrega una señal con frecuencia de 1 GHz y sus especificaciones son las siguientes:

Figura 14. Especificaciones Generador de señales

Parameter	Value
Power Requirement	
Current	1 A
Service Installation	Standard single-phase ac outlet
Unregulated DC Output (Power Bus)	+25 V typ. – 1 A max.; -25 V typ. – 1 A max.; +11 V typ. – 1 A max.
1 GHz RF Power Output	
Impedance	50 Ω
Power Level	+3 dBm (typical); 0 dBm (minimum)
10 GHz RF Power Output	
Impedance	50 Ω
Power Level	+10 dBm (typical)
1 GHz Tuning Voltage Input	
Voltage Range	0-10 V
Frequency Range	700-1200 MHz
Protection	
AC Line Input	Circuit breaker
Unregulated DC Power Bus	Circuit breaker
Physical Characteristics	
Dimensions (H x W x D)	112 x 330 x 300 mm (4.4 x 13.0 x 11.8 in)
Net Weight	6.1 kg (13.4 lb)

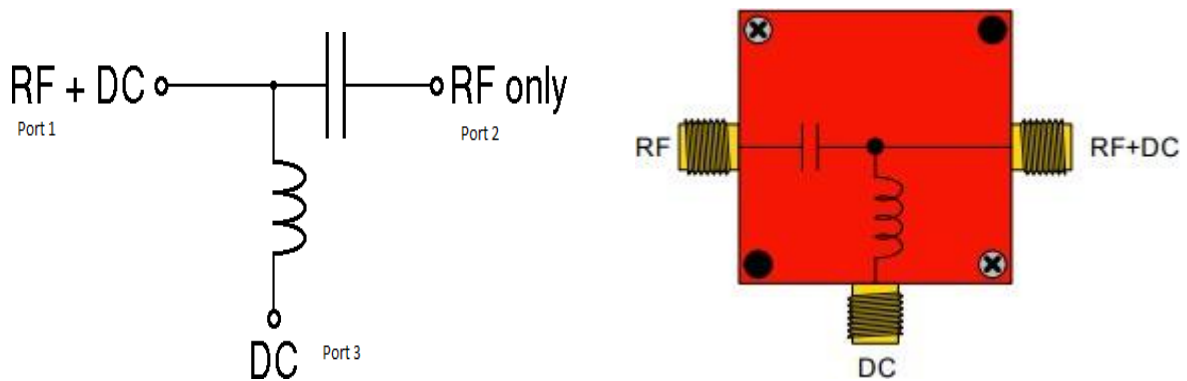
Fuente: Labvolt

Esta señal entregada por el Generador ya viene modulada. Esta señal llega al circuito acople el cual es el emisor y el que irá conectado al diodo láser para luego transportar la señal por medio de la fibra óptica.

6.3.3 Dispositivo de acople y diodo láser (VCSEL)

En esta etapa del prototipo, se incluyó una T de Polarización (Bias Tee), la cual en su interior lleva un circuito como se observa en la siguiente Figura 15:

Figura 15. Dispositivo de acople



Fuente: www.crystek.com

Este dispositivo suministra Corriente o voltajes CC a circuitos, en el Puerto 1 aparece resultado de las dos señales; el condensador impide que las señales de CC pasen al Puerto 2; el inductor bloquea las señales de RF para que no lleguen al puerto 3 y permite que todas las señales CC pasen.

El diodo funciona a una potencia de 1,4 mW el cual puede trabajar con la potencia entregada por el generador de señales. Para conectar el diodo láser al fotodiodo, se utilizó una fibra óptica multimodo 50/125 micras OM2 de 1 mt con conectores ST/UPC en los terminales de la fibra, cuyas propiedades ópticas se presentan a continuación:

Tabla 4. Propiedades ópticas fibra multimodo

PROPIEDADES ÓPTICAS		OM1	OM2	OM2 XL	OM3 SL	OM3	OM4	Giga
Coeficiente Atenuación (dB/Km)	850 nm	≤ 2.5	≤ 2.5	≤ 2.5	≤ 2.5	≤ 2.5	≤ 2.5	≤ 2.5
	1300 nm	≤ 0.7	≤ 0.7	≤ 0.7	≤ 0.7	≤ 0.7	≤ 0.7	≤ 0.7
Ancho de Banda (MHz x Km)	850 nm	≥ 200	≥ 500	≥ 600	≥ 700	≥ 1500	≥ 3500	≥ 600
	1300 nm	≥ 500	≥ 500	≥ 1200	≥ 500	≥ 500	≥ 500	≥ 1200
Distancia Enlace (m)	1000Base-SX	275	550	550	800	900	1100	750
	1000Base-LX	550	550	550	550	550	550	2000
	10GBASE-SX	33	82	82	150	300	550	110
Apertura Numérica		0.200 ± 0.015						
Índice de Refracción	850 nm	1.482						
	1300 nm	1.477						

Fuente: Propiedades ópticas conforme a IEC 60793-2, ISO/IEC 11801, EN 50173, TIA/EIA-492AAAB, TIA/EIA-492AAAC-A, TIA/EIA492AAAD, Telcordia GR-20-CORE, GR-409-CORE, TIA/EIA 568C.

Teniendo en cuenta que en esta conexión no habrá empalmes de por medio y la distancia es sólo de 1 m, no existen pérdidas por empalmes de fusión, sin embargo, los conectores ST tienen una pérdida de máximo 0.5 dB por conector dando un total de 1 dB de pérdidas. El transmisor tiene una potencia de -10 dBm.

6.3.4 Fotodetector y antena

El fotodetector es de referencia OPF482 cuyas especificaciones se encuentran en el Anexo A. Según el Anexo mencionado, el fotodetector tiene como definición: “Este es un fotodiodo de PIN de silicón de bajo ruido montado en un paquete de bajo costo para aplicaciones de fibra óptica. Se ofrece rápido La respuesta es de polarización moderada y es compatible con las fuentes de diodo láser y LED en la región de longitud de onda de 800-1000 nm. Bajo La capacitancia mejora el rendimiento de señal a ruido en las aplicaciones LAN típicas de corto recorrido”.

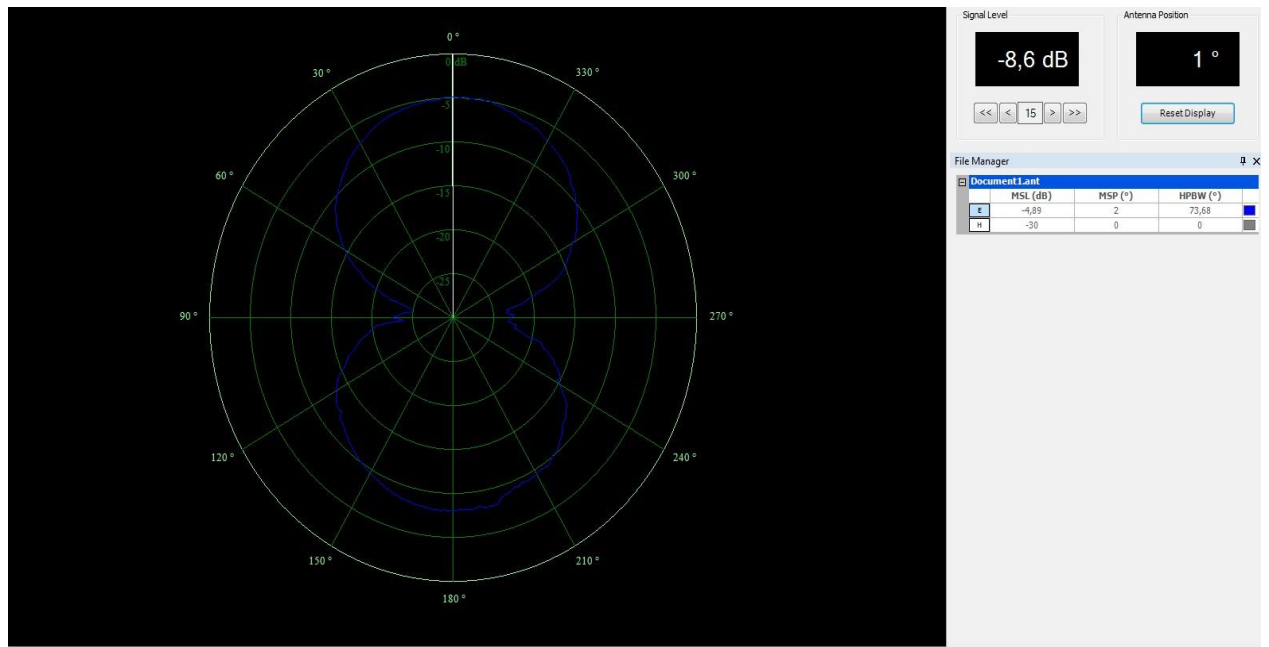
Figura 16. Fotos del circuito



Fuente: Los Autores

El Fotodetector recibe la señal de la fibra óptica emitida por el VCSEL y va conectado a la Antena Yagi utilizada del laboratorio la cual utiliza una frecuencia de 1 GHz, luego se mide en el software Labvolt mostrando lo siguiente en la Figura 17:

Figura 17. Resultado Gráfica LabVolt



Fuente: Los Autores

Se muestra la radiación con una ganancia de -8,6 dB

6.3.5 Atenuación

La atenuación por cada tramo está dada por la siguiente ecuación 1

$$A = \alpha L + AsX + Acy$$

Donde:

α = Coeficiente de atenuación (0,3 dB)

L = Long en Km del tramo (0,01 km)

As = Atenuación promedio de los empalmes (o)

X = Número de empalmes en el tramo (0)

Ac = Atenuación promedio en los conectores (0,2 dB)

y = Número de conectores en el tramo (2)

Reemplazando en la ecuación daría un resultado de 0.4 dB Teóricamente

7. DESCRIPCIÓN ECONÓMICA DEL TRABAJO

Tabla 5. Costo de la implementación

#	DESCRIPCIÓN	VALOR (COP)
1	LM317	\$ 2.000
2	Condensadores	\$ 1.000
3	Resistencias	\$ 1.000
4	Medidor de Potencia (OPM)	\$ 50.000
5	LM324	\$ 2.000
6	Laser VCSEL	\$ 100.000
7	Fotodetector	\$ 80.000
8	1 mt de fibra multimodo	\$ 40.000
9	Conectores SC/UPC y ST/UPC	\$ 10.000
10	3 transistores 2N3904	\$ 3.000
11	2 Conectores de audio 3,5 mm	\$ 80.000
12	1 Parlante	\$ 20.000
13	T de Polarización	\$ 300.000
14	Antena Dipolo	\$ 15.000
15	Mano de Obra	\$ 800.000
16	Total	\$ 1.504.000

Fuente: Los autores

8. CONCLUSIONES

- La telecomunicación inalámbrica en conjunto con tecnología óptica ofrece amplias características que cumplen con los requisitos de acceso a los servicios de internet de banda ancha, brindando soluciones eficaces y de alta complejidad.
- El tratamiento y transporte de señales fijas e inalámbricas en una misma red de acceso, por ejemplo, RoF, da lugar al surgimiento de una red convergente jugando un papel importante en la combinación de fibra óptica y enlaces inalámbricos.
- RoF permite utilizar un amplio ancho de banda y mejorar el transporte de las señales de radio frecuencia por la fibra

BIBLIOGRAFIA

ANTHONY NG'OMA. "Radio-over-Fiber Technology for Broadband Wireless Communication Systems". 2005

DELOITTE, Departamento de Comunicación, Marca y Desarrollo de Negocio, Madrid. 2018. Disponible en:
<https://perspectivas.deloitte.com/hubfs/Campanas/PrediccionesTMT/TMT-Trends-2018-Folleto.pdf>

BBVA NEWSLETTER, "5G, llega el mundo ultraconectado", 16 Marzo 2017

CISCO SYSTEMS, Cisco visual networking index: Forecast and methodology, 2012-2017., [Online], Agosto 31 2013, Disponible en:
<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networkingindex-vni/complete-white-paper-c11-481360.html>

GRANADA TORRES, JHON JAMES. Hacia la próxima generación de sistemas de Radio sobre Fibra de banda ancha: retos tecnológicos en la banda de las ondas milimétricas. [En línea]. Barranquilla, Colombia. 2013. Vol. 29 N° 2 julio-diciembre de 2011. Disponible en:
<http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/viewArticle/3627/4538>

M. MILOSAVLJEVIC, P. KOURTESSIS, AND A. GLIWAN, "44

ZHENSHENG, J., JIANJUN, Y., GEORGIOS, E. AND GEE-KUNG, C., Key enabling technologies for optical-wireless networks: Optical millimeter-wave generation, wavelength reuse, and architecture, J. Lightwave Tech., 25 (11), pp. 3452-3471, 2007.
<https://doi.org/10.1109/JLT.2007.909201>

CHUN-TING, L., JASON, C., PENG-CHUN, P., CHENG-FENG, P., WEI-REN, P., BI-SHIOU, C. AND SIEN, C., Hybrid optical access network integrating fiber-to-the-home and radioover-fiber systems. IEEE Photon Technol. Lett., 19 (8), pp. 610-612, 2007.
<https://doi.org/10.1109/LPT.2007.894326>

MIZUGUTI, H., OKUNO, T., KOMAKI, S. AND MORINAGA, N., Performance analysis of optical fiber link for microcellular mobile communication systems. IEICE Trans. Electron., E76- C, pp. 271-278, 1993.

G. E. CAMPOS AND G. P. SABOGAL, "Software de simulación de diferentes tipos de modulación de señales de radiofrecuencia sobre fibra óptica", Umbral Científico Redalyc, n° 9, pp. 76-84, septiembre de 2006.

IDELFONSO TAFUR MONROY, NEIL GUERRERO GONZÁLEZ, ANTONIO CABALLERO, KAMAU PRINCE, DARKO ZIBAR, TIM GIBBON, XIANBIN YU, JESPER BEVENSEE JENSEN. Convergencia de sistemas de comunicación ópticos e inalámbricos. (2009). Convergencia de sistemas de comunicación ópticos e inalámbricos. Óptica Pura y Aplicada. 42. 83-90.

CHUN-THING, L., CHEN J., PO-TSUNG S., WEN-JR J., SIEN C. Ultra-High Data-Rate 60 Ghz Radio-OverFiber Systems Employing Optical Frequency Multiplication and

OFMD Formats. J. LightwaveTechnology., 28. 2296-2306. 2010.

AGENCIA NACIONAL DEL ESPECTRO-COLOMBIA. Resolución ANE 0711 de 2016 Bandas ISM Colombia. 11 Oct 2016. 2016.

PRIETO, JAIME. Diseño de una red de acceso mediante fibra óptica [en línea]. Proyecto fin de carrera, Universidad Politécnica de Madrid Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación. Madrid (España), Junio 2014. Disponible en: http://oa.upm.es/33869/1/PFC_jaime_prieto_zapardiel.pdf

OJEDA, ARTURO. Estudio y diseño de una red FTTH en un campus universitario y una vivienda residencial [en línea]. Proyecto fin de carrera, Pontificia Universitaria Católica del Perú. Lima (Peru), Mayo 2009. Disponible en: <http://tesis.puep.edu.pe/repositorio/handle/123456789/854?show=full>

Standard I. El Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. 2015:pp.1-31.

ANDRADE, TIAGO PEDROSO DA CRUZ DE. Integração de redes de sensores sem fio com tecnologia Rádio-sobre-Fibra. Maestría. [En línea]. Campiña. 2013. Disponible en: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/275620>

RIVERA, ROCIO Y GOMEZ, YENNI. “Diseño simulación y construcción de una antena para la propagación de señales, en una banda de 2.4GHz”, Universidad Minuto de Dios, 2009.

MUÑOZ, CLAUDIA. Calculo y diseño de radio enlace Wi-Max para Viacha-nueva Tilata. Trabajo de Grado. En línea. La Paz Bolivia. 2014. Disponible en: <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/10776>

ANEXO A

Vertical Cavity Surface Emitting Laser in FC Optical Sub-Assembly

OPV314AT, OPV314YAT, OPV314YBT



Features:

- 850 nm VCSEL technology
- High thermal stability
- Up to 2.5 Gbps
- Recommended for multimode fiber applications
- Microbead lens
- Pin out and attenuation options available upon request
- Burned in for communication level reliability
- High optical coupling to MM fiber
- ST style receptacle



Description:

The OPV314AT and OPV314BT are high performance 850nm VCSEL packaged for high speed communication links. OPV314AT and OPV314BT combines all the performance advantages of a VCSEL with the addition of a power monitor diode for precise control of optical power. The OPV314YAT and OPV314YBT are identical electrically and optically and differ only in pin out. Refer to mechanical drawings for details. This product's combination of features including high speed, high output power and concentric beam makes it an ideal transmitter for integration into all types of data communications equipment.

Applications:

- Fiber channel
- Gigabit Ethernet
- ATM
- VSR (very short reach)
- Intra-system links applications
- Optical backplane interconnects

Absolute Maximum Ratings ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Storage Temperature	-40° C to +125° C
Operating Temperature	0° C to +85° C
Soldering Lead Temperature	260° C for 10 Seconds
Maximum Forward Peak Current, Continuous	12 mA
Maximum Reverse Voltage	5 V
Maximum Forward Current, pulsed 1µs P.W., 10% D.C.	48mA



Additional laser safety information can be found on the Optek website. See application #221.

Classification is not marked on the device due to space limitations. See package outline for center-line of optical radiance. Operating devices beyond maximum rating may cause devices to exceed rated classification.



General Note

TT Electronics reserves the right to make changes in product specifications without notice for safety. All information is subject to TT Electronics' most data and is considered accurate at time of going to print.

© TT Electronics plc

TT Electronics | Oak Technology, Inc.
1640 Webster Drive, Ste. 110, Carrollton, TX 75006, USA, Tel: +1 972 320 2200
www.tt-electronics.com | www.oaktechnology.com

Issue 5: 21/2015 Page 5

Vertical Cavity Surface Emitting Laser in FC Optical Sub-Assembly

OPV314AT, OPV314YAT, OPV314YBT



Electrical Specifications

Electrical Characteristics ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)						
SYMBOL	PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNITS	TEST CONDITIONS
P_{TDC}	Total coupled power OPV314AT, OPV314YAT 50/125 μm fiber OPV314YBT	600			μW	$I_F = 7\text{ mA}$
		400			μW	$I_F = 7\text{ mA}$
I_{th}	Threshold current	0.8		3.0	mA	Note 1
V_F	Forward voltage	1.6		2.2	V	$I_F = 7\text{ mA}$
I_R	Reverse current			100	nA	$V_R = 5\text{ V}$
R_S	Series resistance	20		55	Ohms	Note 2
η	Slope efficiency OPV314AT, OPV314YAT OPV314YBT	60			$\mu\text{W}/\text{mA}$	Note 3
		40			$\mu\text{W}/\text{mA}$	
I_{RO}	Reverse current, photodiode			30	nA	$V_R = 40\text{ V}$
I_M	Monitor current	30			μA	$I_F = 7\text{ mA}$, $V_R = 5\text{ V}$
λ	Wavelength	840		860	Nm	
$\Delta\lambda$	Optical bandwidth			0.85	Nm	
t_r	Rise time		90		Ps	20 to 80%
t_f	Fall time		120		Ps	80 to 20%
N_{rel}	Relative intensity noise		-123		DB/Hz	
$\Delta\eta/\Delta T$	Temp coefficient of slope efficiency		-0.4		$\%/^\circ\text{C}$	$0^\circ - 70^\circ\text{C}$
ΔI_{th}	Temp variance of threshold current		± 1.0		mA	$0^\circ - 70^\circ\text{C}$
$\Delta\lambda/\Delta T$	Temp coefficient of wavelength		0.06		$\text{nm}/^\circ\text{C}$	$0^\circ - 70^\circ\text{C}$
$\Delta V_F/\Delta T$	Temperature coefficient for V_F		-2.5		$\text{mV}/^\circ\text{C}$	

NOTES:

- (1) Threshold Current is based on the two line intersection method specified in Telcordia GR-468-Core. Line 1 from 4 mA to 5 mA. Line 2 from 0 mA to 0.5 mA.
- (2) Series Resistance is the slope of the Voltage-Current line from 5 to 8 mA.
- (3) Slope efficiency. Is the slope of the best fit LI line from 5 mA to 8 mA using no larger than .25 mA test interval points. Measured with a 50/125 μm fiber.
- (4) Linearity—Using data points taken for slope efficiency above, data $I/\Delta I$ shall be calculated for each adjacent pair of points.

General Note

TT Electronics reserves the right to make changes in product specifications without notice or liability. All information is subject to TT Electronics' own data and is considered accurate at time of going to press.

© TT Electronics plc.

TT Electronics | Optek Technology, Inc.
1645 Wyllys Drive, Ste. 140, Carrollton, TX USA 75006 (PH) +1 972 323 2300
www.ttelectronics.com | sales@ttelectronics.com

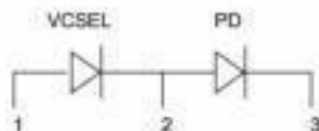
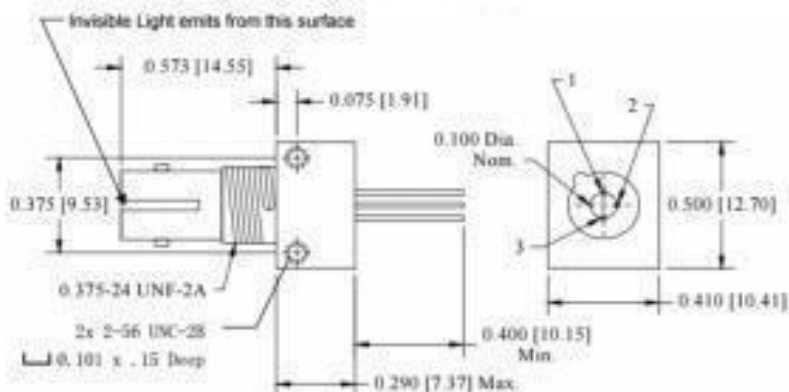
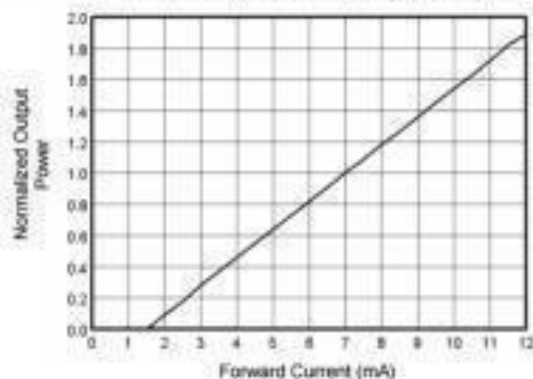
Rev 6 11/2016 Page 2

Vertical Cavity Surface Emitting Laser in FC Optical Sub-Assembly

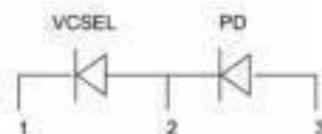
OPV314AT, OPV314YAT, OPV314YBT



Normalized Output Power vs. Forward



OPV314AT, OPV314BT	
Pin	Connection
1	VCSEL Anode
2	VCSEL Cathode/PD Anode
3	PD Cathode



OPV314YAT, OPV314YBT	
Pin	Connection
1	VCSEL Cathode
2	VCSEL Anode/PD Cathode
3	PD Anode

OPTER reserves the right to make changes at any time in order to improve design and to supply the best product possible.

General Note

TT Electronics reserves the right to make changes in product specification without notice or liability. All information is subject to TT Electronics' own data and is considered accurate at time of going to print.

© TT Electronics plc

TT Electronics | Optics Technology, Inc.
15401 Wilshire Drive, Ste. 130, Carrollton, TX 75006 (Ph: +1 972 323 2200)
www.ttelectronics.com | sales@ttelectronics.com

Issue 9 - 11/2016 Page 3

FIBER OPTIC DETECTOR

OPF482



Features:

- High speed, low capacitance
- Popular ST^o style receptacle
- Pre-tested with fiber to assure performance
- Component pre-mounted and ready to use
- 100MHz operation minimum



Description:

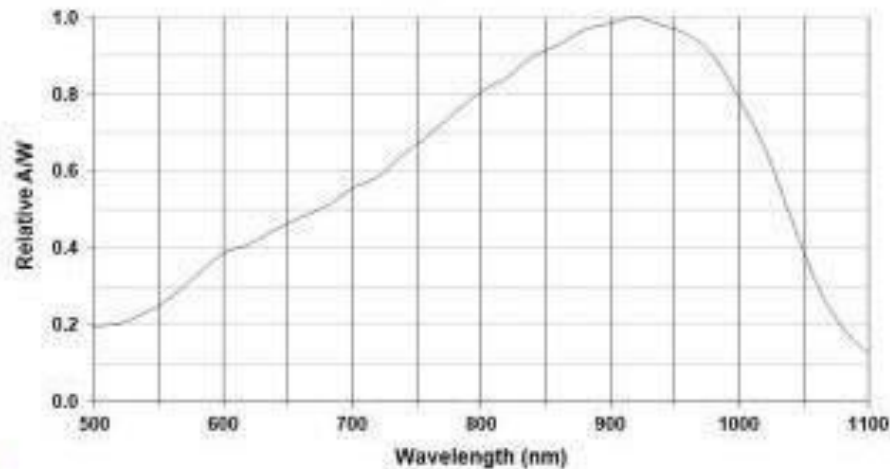
The OPF482 is a low noise silicon PIN photodiode mounted in a low cost package for fiber optic applications. It offers fast response at moderate bias and is compatible with LED and laser diode sources in the 800-1000 nm wavelength region. Low capacitance improves signal to noise performance in typical short haul LAN applications.

The OPF482 is designed to be compatible with multimode optical fibers from 50/125 to 200/300 microns.

Applications:

- Industrial Ethernet equipment
- Copper-to-fiber media conversion
- Intra-system fiber optic links
- Video surveillance systems

Typical Responsivity



RoHS ST^o is a registered trademark of AT&T.

General Note

TT Electronics reserves the right to make changes in product specification without notice or liability. All information is subject to TT Electronics' own data and is considered accurate at time of going to print.

© TT Electronics plc

OPTIX Technology, Inc.

1645 Wallace Drive, Carrollton, TX 75006-1001 +1 972 323 2200
www.optelec.com | www.ttelectronics.com

Issue D - 01/2018 Page 1

FIBER OPTIC DETECTOR

OPF482



Electrical Specifications

Absolute Maximum Ratings ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

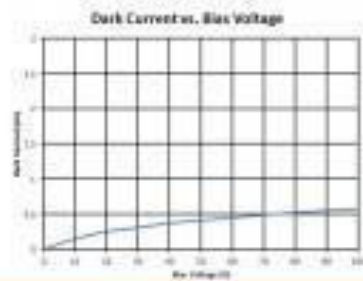
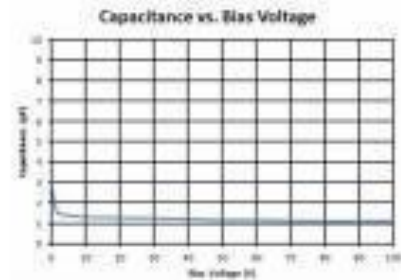
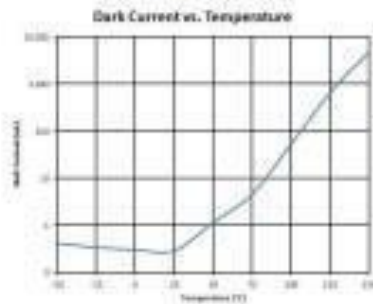
Storage Temperature Range	-55°C to $+100^\circ\text{C}$
Operating Temperature Range	-40°C to $+85^\circ\text{C}$
Lead Soldering Temperature ⁽¹⁾	260°C
Continuous Power Dissipation ⁽²⁾	200 mW
Maximum Reverse Voltage	100 VDC

Electrical Characteristics ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

SYMBOL	PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNITS	TEST CONDITIONS
R	Responsivity	0.45	0.55		A/W	$V_b = 5.0\text{V}$; 50/ $\pm 25\mu\text{m}$ fiber; $\lambda = 850\text{nm}$
I_D	Dark Current		0.1	5.0	nA	$V_b = 5.0\text{V}$
λ_p	Peak Response Wavelength		905		nm	
t _r	Output Rise Time		2.0		ns	$V_b = 5\text{V}$; $R_L = 50\Omega$; 10%-90%
C _T	Total Capacitance		1.5	2.0	pF	$V_b = 5\text{V}$

Notes:

- Maximum of 5 seconds with soldering iron. Duration can be extended to 10 seconds when flow soldering. RMA flux is recommended.
- De-rate linearly at $2.67\text{mW}/^\circ\text{C}$ above 25°C .



General Note

TT Electronics reserves the right to make changes in product specification without notice or liability. All information is subject to TT Electronics' own data and is considered accurate at time of going to print.

© TT Electronics plc

OPTAR Technology, Inc.

1645 Wallace Drive, Carrollton, TX 75006) Ho +1 872 323 2200
www.optarinc.com | www.ttelectronics.com

Issue 0 - 07/2018 - Page 2